

## УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПОНЕНТЫ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ БЕТАТРОНА НА 25 МЭВ

Н. А. ТИХОНОВ и Б. М. ЯКОВЛЕВ

(Представлено научным семинаром физико-технического факультета)

### Введение

Известно, что тормозное излучение в бетатроне возникает в результате взаимодействия пучка ускоренных электронов с материалом мишени; направление излучения совпадает преимущественно с направлением падающих на мишень электронов. Теоретические и экспериментальные работы [1—3], проведенные по изучению взаимодействия электронного пучка с материалом мишени и угловому распределению  $\gamma$ -излучения от мишени, дают остро выраженный максимум интенсивности излучения и, практически, отсутствие излучения под углами, большими  $15\text{--}20^\circ$  к направлению основного пучка  $\gamma$ -лучей.

Кроме основного пучка  $\gamma$ -лучей, бетатрон дает и рассеянное излучение, направленное во все стороны, особенно в плоскости орбиты электронов. Излучение под большими углами к направлению основного пучка предполагалось сравнительно мягким и считалось обусловленным торможением на стенках камеры электронов, вышедших или не попавших в ускорительный режим.

Однако нами при изучении углового распределения излучения бетатрона на 25 Мэв наблюдалось не только мягкое рассеянное излучение, но и  $\gamma$ -лучи с энергией выше 10—12 Мэв под любыми углами к направлению основного пучка в плоскости равновесной орбиты установки.

### Методика эксперимента

Изучение углового распределения интенсивности излучения проводилось на бетатроне с максимальной энергией ускоренных электронов 25 Мэв.

Измерения интегральной интенсивности  $\gamma$ -лучей производились с помощью ионизационной камеры с рабочим объемом  $20\text{ см}^3$  и переменной толщиной передней стенки. Камера перемещалась в плоскости равновесной орбиты установки по окружности радиусом 1 м. Результаты измерений представлены на рис. 1.

Кривая углового распределения интегральной интенсивности  $\gamma$ -лучей бетатрона на 25 Мэв по своему характеру сходна с кривыми углового распределения излучения, полученными рядом авторов для бетатронов

с энергиями 20—30 Мэв. Однако угол половинной интенсивности  $\gamma$ -излучения в нашем случае несколько больше, что может объясняться толщиной применяемой мишени (вольфрам 0,4 мм).

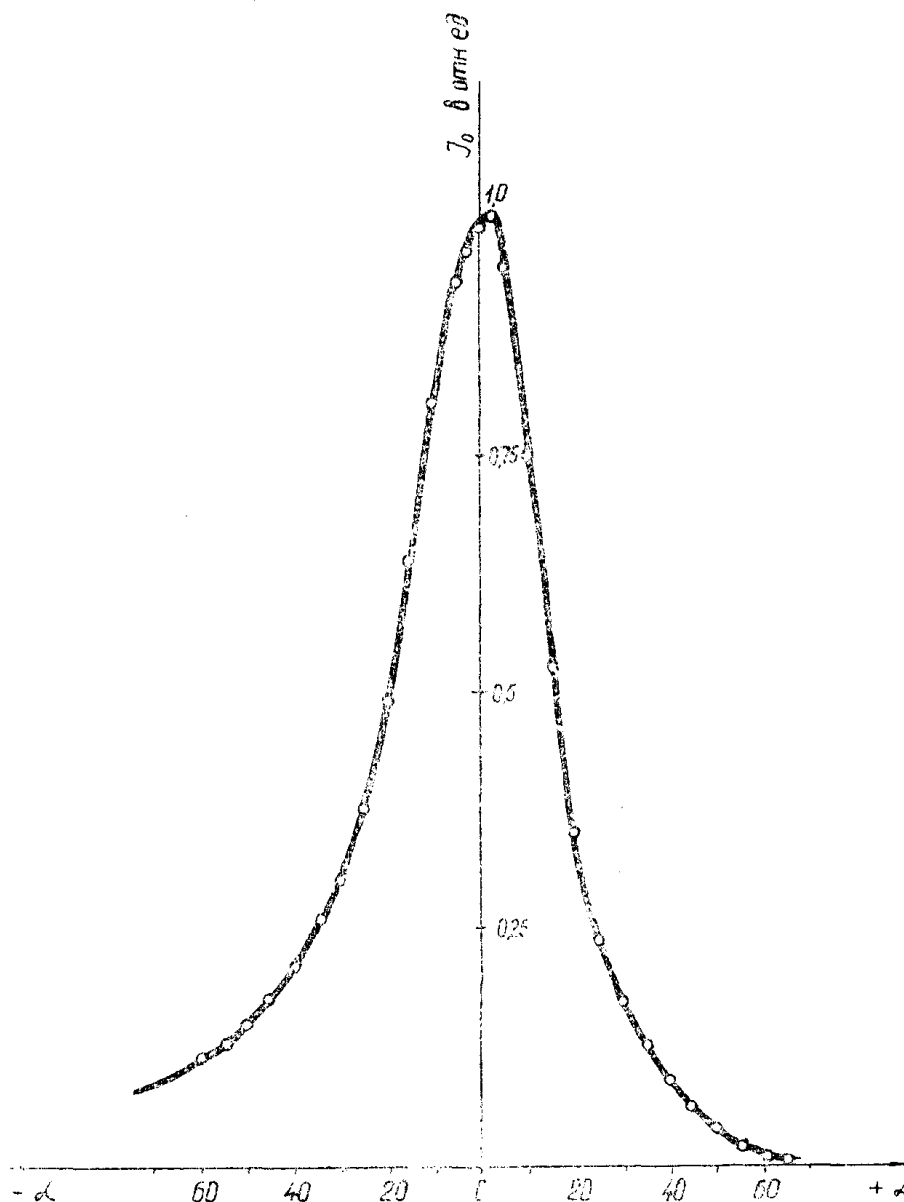


Рис. 1. Угловое распределение интегральной интенсивности  $\gamma$ -излучения бетатрона на 25 Мэв на расстоянии 1 м от мишени.

Измерение интенсивности высокоэнергетической части спектра рассеянного излучения проводилось по методу наведенной активности в образцах с разной пороговой энергией ( $\gamma$ ,  $n$ )-реакции. Использовались образцы из графита и электролитической меди в виде пластинок определенных геометрических размеров.

Исследуемые образцы помещались на расстоянии 50 см от центральной оси установки в плоскости равновесной орбиты перпендикулярно радиусу. Измерения проводились на трех различных ускорительных камерах, камеры имели разное поперечное сечение, но с одними и теми же инжектором и мишенью. Максимальная интенсивность излучения во всех

трех случаях была различной. Для каждой серии измерений интенсивность излучения, измеряемая в направлении основного пучка  $\gamma$ -лучей, а также время облучения образцов оставались строго постоянными.

Приведенная к началу распада активность образцов относилась к единице интенсивности излучения в направлении основного пучка и одному молю вещества. Наблюдаемые кривые распада наведенной активности образцов соответствовали распаду изотопов  $\text{Cu}^{62}$  ( $\tau=9,8-10$  мин) и  $\text{Cu}^{64}$  ( $\tau=20-21$  мин).

Присутствие других активностей в обоих случаях обнаружено не было.

Для оценки возможных ошибок некоторые измерения проводились несколько раз. Средняя ошибка составляла около 5%.

## Результаты исследований

Результаты измерения активности медных образцов, приблизительно пропорциональные интенсивности высокоэнергетической части спектра рассеянного излучения (выше 11 Мэв), представлены на рис. 2 в виде „розы излучения“. По радиусу вектору отложены значения  $\sqrt{N}$ , где  $N$  — величина активности. Общий вид розы излучения сохраняется для всех ускорительных камер, причем для камер № 1 и № 3, имевших примерно равные рабочие сечения, данные практически совпадают.

Как видно из рис. 2, относительная интенсивность излучения в направлении, противоположном направлению основного пучка, составляет около 25%. Такое распределение является весьма неожиданным и не соответствует распределению интегральной интенсивности, снятому ионизационной камерой на расстоянии 1 м. Для выяснения причины аномально больших значений интенсивности рассеянного излучения вблизи ускорительной камеры намечена серия экспериментов, включающая снятие спектра и отделение электронного потока.

Характер наведенной активности указывает только на реакции типа  $(\gamma, n)$ . Влияние реакций типа  $(n, 2n)$ , ведущих к тем же активностям, может не учитываться, так как они имеют такие же пороговые энергии, а число испускаемых бетатроном нейтронов с такими энергиями ничтожно и составляет, по литературным данным [7], всего сотни частиц на рентген излучения в основном пучке.

На рис. 3 представлена зависимость активности графита от угла, под которым проводилось облучение. Быстрое спадание активности с увеличением угла указывает на то, что под углами, большими 50—60°, практически отсутствуют

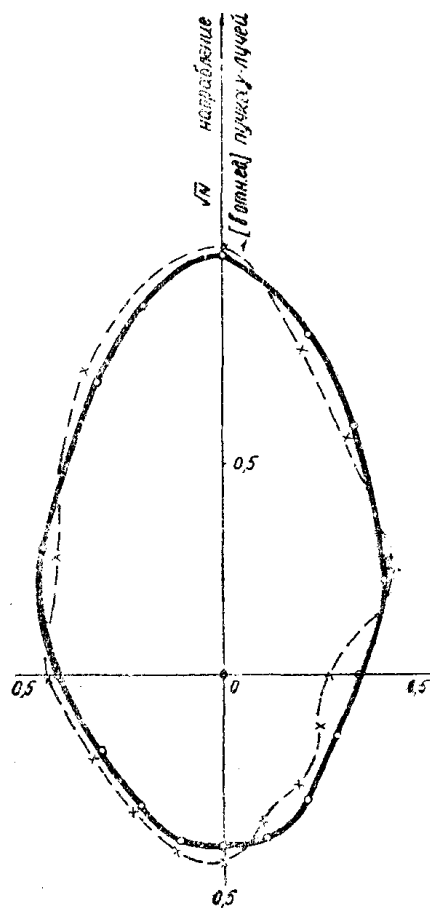


Рис. 2. „Роза интенсивности“ высокоэнергетической части спектра излучения, снятая на расстоянии 0,5 метра от центральной оси установки. —О—О—О— кривая для камер с высоким рабочим поперечным сечением. —Х—Х—Х— то же для камеры с малым рабочим поперечным сечением.

$\gamma$ -лучи с энергией выше 19 Мэв. Для сравнения на этом же графике приведены усредненные значения активности в медных образцах.

Интенсивность рассеянного излучения изменялась пропорционально интенсивности основного пучка  $\gamma$ -лучей, из чего можно сделать вывод, что высокоэнергетическая компонента рассеянного излучения связана с электронным пучком, падающим на мишень. Быстрые электроны, пронизавшие мишень и потерявшие при этом часть своей энергии, под действием магнитного поля бетатрона попадают на внутреннюю стенку ускорительной камеры, благодаря чему возникает излучение, которое может содержать и кванты высокой энергии.

Приближенный расчет показывает, что минимальная потеря энергии, при которой электроны, прошедшие сквозь мишень без изменения направления движения, попадают на внутреннюю стенку камеры под воздействием магнитного поля установки, составляет для нашего бетатрона около 2,5 Мэв.

Наличие высокоэнергетической компоненты рассеянного излучения представляет интерес с ряда точек зрения.

Поскольку образцы, расположенные в плоскости равновесной орбиты под углами 90 и 270°, находились вблизи стоек электромагнита бетатрона, то следует ожидать, что в стали электромагнита постоянно наводится радиоактивность. Так как изотоп железа  $Fe^{55}$  имеет период полураспада

около 4 лет, то наводимая активность будет накапливаться постепенно. Хотя общий срок работы бетатрона невелик  $\sim 150$  часов, измерения, проведенные в аппаратном помещении, показывают увеличение фона примерно на 50—60%. Измерения, проведенные непосредственно после получасовой работы бетатрона со счетчиком, установленным в воздушном зазоре между катушками электромагнита, показали значительную активность с периодом полураспада около 9 мин. Эта активность может быть отнесена к распаду изотопа железа  $Fe^{53}$  ( $\tau = 8,9$  м) и изотопу меди  $Cu^{62}$  ( $\tau = 10$  м). Близкие периоды полураспада этих изотопов затрудняют разделение активностей. Наблюдалась также незначительная, медленно спадающая активность весьма сложного характера с усредненным периодом около 20—40 мин, которая может быть отнесена к активации цинковых белил, текстолита и других деталей облицовки электромагнита.

Рис. 3. Угловое распределение излучения по наведенной активности в образцах:

—○—○— медь, пороговая энергия 10,65 Мэв;  
..... углерод, пороговая энергия 18,7 Мэв.

Из работ ряда авторов [4, 5] и из наших предварительных исследований вытекает, что бетатроны с энергией 20÷30 Мэв являются источниками значительных по величине потоков нейтронов. Поэтому активация

некоторых материалов может обуславливаться и другими реакциями, в частности ( $n$ ,  $\gamma$ )-реакцией.

### Выводы

Проведенные измерения рассеянного излучения бетатрона позволяют сделать следующие выводы:

1. Бетатрон с энергией излучения 25 Мэв имеет в спектре рассеянного излучения высокоэнергетическую компоненту (с энергией до 19 Мэв).

2. Интенсивность высокоэнергетической компоненты значительна и приводит к активации деталей конструкции установки. Нами наблюдалась активация медных образцов, расположенных под углом  $90^\circ$  к пучку за стойками магнита, а также за свинцовым экраном толщиной 30 мм.

3. Наличие высокоэнергетического рассеянного излучения следует учитывать при расчетах и проектировании защиты бетатронов, особенно для подвижных установок закрытого типа.

4. Следует особо рассмотреть вопрос о возможности использования рассеянного излучения. Возможно, например, одновременное просвечивание ряда образцов, что может представлять некоторый интерес для целей дефектоскопии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Schiff H. Phys. Rev., 70, 87, 1946. Phys. Rev., 83, 252, 1951.
2. Lawson J. D. Proc. Phys. Soc., 63 A, 653, 1950.
3. Phillips K. Proc. Phys. Soc., 65 A, 57, 1952.
4. Clark S. H. Nucleonics, 11, No 9, 38, 1953.
5. Price G. A. and Kerst D. W.—Phys. Rev., 77, 806, 1950.
6. Wäffler H. Сборник статей „Das Brown Boveri Betatron“, s. 26, 1953.

439640

